Aus der Universitäts-Augenklinik Basel
(Direktor: Prof. Dr. A. Brückner)

Eine vergleichende Untersuchung der Tonometer von Fick-Livschitz und Schiötz

Mit 7 Tabellen und 5 Abbildungen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Medizinischen Fakultät
der
Universität Basel

vorgelegt von

Marie Lörtscher, med. pract.
aus
Diemtigen (Kt. Bern)

1 9 3 1

Druck der Hoffmannschen Buchdruckerei Felix Krais, Stuttgart

Von der Medizinischen Fakultät Basel
genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. A. Brückner

Tag der Promotion: 17. Mai 1930

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Zugleich erschienen in Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Bd. 86, 1931, Seite 753—769

Eine vergleichende Untersuchung der Tonometer von Fick-Livschitz und Schiötz.

Von **Marie Lörtscher.**

Mit 5 Abbildungen und 7 Tabellen.

Im Laufe der letzten Jahre hat K. Apin der Druckbestimmung des Auges mit den Applanationstonometern von Maklakow und Fick-Livschitz ausführliche Arbeiten gewidmet. Da die Ergebnisse dieser Untersuchungen in vielen Punkten mit den von mir ausgeführten Beobachtungen in Zusammenhang stehen, ist es notwendig kurz einige der Resultate von Apin hier zu schildern.

Zunächst wurden von ihm (1) zahlreiche vergleichende Druckmessungen mit den Tonometern von Maklakow (M.), Fick-Livschitz (F.-L.) und Schiötz (Sch.) an Patienten ausgeführt. Es wurde bei jedem Untersuchten mit diesen 3 Apparaten der intraokulare Druck bestimmt.

Dabei wurden mit dem Tonometer von Sch. Druckhöhen von 7, 8, 10, 11, 13, 15, 18, 21, 30, 31 und 36 mm Hg gefunden. Die Befunde der beiden anderen Tonometer wurden nun so in Gruppen zusammengefasst, dass jedesmal alle Daten von M. und F.-L., die bei den obengenannten Druckhöhen des Sch. gefunden worden waren, eine Gruppe bildeten. Von diesen so zusammengenommenen Tonometerangaben wurden die Gruppenmittelwerte bestimmt und ihre Differenzen gegenüber der Druckhöhe von Sch. in ein Koordinatensystem eingetragen wie es Abb. 1 wiedergibt. Auf den Abszissen sind die Druckhöhen nach Sch. und auf den Ordinaten die Differenzen abgetragen. Die ausgezogene Linie ergibt die Differenzenkurve für F.-L. und die gestrichelte die für M. Die Abb. 1 stammt aus der Apinschen Arbeit[1]), nur wurde der Maßstab der Abszisse gleichmässig und nicht wie in der Originalzeichnung willkürlich variabel genommen, da durch diese Art der Aufzeichnung der Ueberblick erleichtert wird. Man sieht aus Abb. 1, dass das F.-L.-Instrument stets höhere Werte als das Sch.-Tonometer angibt. Bis zu 18 mm Hg-Schiötzangabe schwankt der Unterschied zwischen + 5 und + 7 mm Hg, nimmt bei steigendem Druck stetig zu, um bei 36 mm Hg-Schiötz + 18 mm Hg zu betragen. Das M.-Tonometer misst im Bereich 12—32 mm Hg im Vergleich zum Sch.-Instrument zu hoch, bei 33 mm Hg wird aber die Differenz gleich Null und bei noch grösseren Druckhöhen schlägt sie ins Negative um.

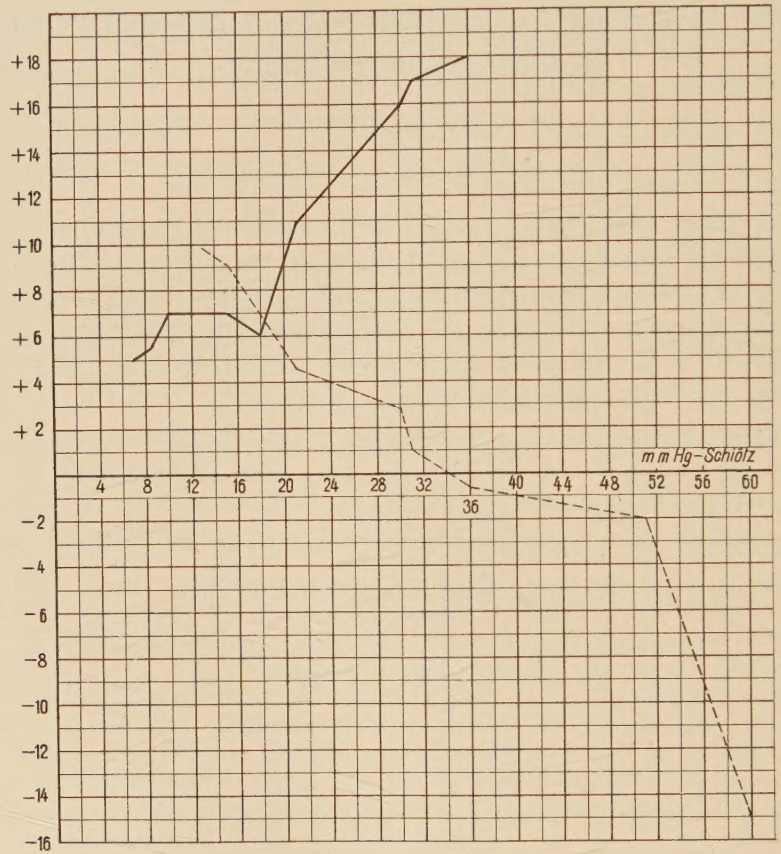
Apin selbst schreibt als Analyse zu Abb. 1 folgendes:

„Bei niedrigem Druck weist F.-L. gegenüber Sch. eine geringere Differenz auf, die mit steigendem Druck um einige Millimeter zuwächst und nur bei sehr hohem

[1]) Bei Apin als Tabelle 2 C bezeichnet.

Druck um weitere 8 mm höhere Werte zeigt. Anders verhält sich M.: Bei niedrigem Druck sehen wir die grösste Differenz, die mit ansteigendem Druck einen steilen Abfall aufweist, so dass bei hohem Druck M. schon niedrigere Werte zeigt, als Sch. Auf Grund dieser klinisch erhobenen Tatsache können wir sagen, dass M. eine gewisse individuelle Abweichung von beiden andern aufweist, denn während Sch. und F.-L.

Abb. 1.



Differenzkurven der Tonometer von Schiötz, Fick-Livschitz und Maklakow bei Druckmessungen an Patienten (nach Apin). Auf der Abszisse sind die Werte nach Schiötz in mm Hg abgetragen. Die ausgezogene Linie entspricht den Differenzen zwischen den Angaben der Tonometer von Schiötz und Fick-Livschitz, die gestrichelte Linie zwischen denen von Schiötz und Maklakow

bei allen Druckhöhen beinahe dieselbe Differenz beibehalten, zeigt M. niedrigen Druck, höher und hohen, niedriger als Sch. an."

Der Inhalt dieser Sätze wird nicht in allen Punkten den in Abb. 1 niedergelegten Tatsachen gerecht. F.-L. und Sch. zeigen durchaus nicht bei allen Druckhöhen beinahe die gleiche Differenz, sondern man kann im Gegenteil sagen, nur in dem kleinen Bereich von 7—18 mm Hg wird ungefähr der gleiche Unterschied gefunden, der von da ab aber steil zunimmt. Auf diese für das folgende bedeutsame Feststellung soll weiter unten näher eingegangen werden.

Apin (1) hat fernerhin gefunden, dass die zu einem bestimmten Ausschlag von Sch. gehörigen F.-L.-Werte von etwa 7 verschiedenen Ablesungen am F.-L.-Tonometer herstammen, während umgekehrt die bei einer bestimmten Federspannung des F.-L. gefundenen Sch.-Werte sich nur aus ungefähr 4 verschiedenen Ablesungen zusammensetzen. Er zieht daraus den Schluss, dass das F.-L.-Instrument empfindlicher sei als das Sch. Eine derartige Empfindlichkeit ist für die Beurteilung der Güte der Apparate bedeutungslos, da sie lediglich durch die Hebellänge des Zeigers und die Art der Skaleneinteilung bedingt ist. Man brauchte bloss den Zeiger des Sch.-Apparates um das Doppelte zu verlängern, und es wäre dann das Sch.-Tonometer das „empfindlichere". Bei der Beurteilung von Tonometern spielt eine derartige Empfindlichkeit zunächst gar keine Rolle, sondern es interessiert vorwiegend der mittlere Fehler der einzelnen Beobachtung, der aber von Apin nicht berechnet worden ist.

In einer weiteren Arbeit hat Apin (2) das M.-Tonometer am Leichenauge in situ unter Manometerkontrolle geeicht. Dabei wurde von ihm gefunden, dass die theoretisch für das M.-Tonometer berechneten Werte (bei 10 g Belastung) bei niedrigen Drucken zu hoch und bei hohen Drucken zu niedrig sind. In Tabelle 1 sind diese Differenzen eingetragen. Mit Hilfe dieser Angaben können die für das M.-Instrument theoretisch berechneten Werte korrigiert werden. Ich habe diese Korrektur für die Differenzenkurve des M.-Tonometers gegenüber dem Sch.-Apparat, wie sie Abb. 1 zeigt, durchgeführt; Abb. 2 (s. S. 756) gibt das Resultat.

Tabelle 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Manometerdruck in mm Hg	10	20	30	40	50	60	70	80
Theoretischer Tonometerdruck in mm Hg, aus den experimentell gefundenen Applanationsdiametern bestimmt	18,2	24,5	31	38	45	51	59	65
Differenz von Manometerdruck und theoretischem Tonometerdruck	+8,2	+4,5	+1,0	−2,0	−5,0	−9,0	−11,0	−15,0

Differenz von tatsächlichem Manometerdruck und den aus dem experimentell bestimmten Applanationsdiametern berechneten Druck.
Die Tabelle stellt einen Auszug aus der Tabelle 2 der Arbeit von K. Apin (2) dar.

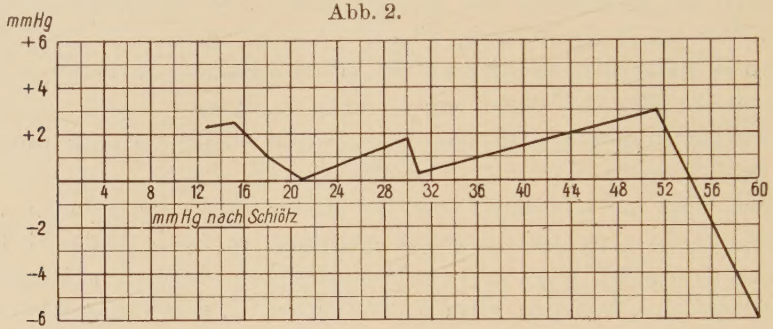
Man sieht, dass nun die durch die Eichwerte korrigierten Angaben des M. verhältnismässig gut mit den Angaben des Sch. übereinstimmen. In dem Bereich von 10—50 mm Hg schwanken die Differenzen der Mittelwerte beider Apparate nur noch um 0 bis + 3 mm Hg, selbst bei 60 mm Hg höherem Druck beträgt der Unterschied nur — 6 mm Hg. Wenn auch im allgemeinen noch eine hauptsächlich positive Differenz besteht, die wohl auf einen systematischen Fehler bei der Eichung zurückzu-

führen ist, kann man doch sagen, dass die Druckangaben beider Apparate durch die Eichung von Apin in guten Einklang gebracht worden sind.

Weiterhin hat Apin (3) das Tonometer von M. für verschieden hohe Belastung an Leichenaugen in situ geeicht.

Für die Belastungsgrössen von 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 20 und 30 g hat er die zu bestimmten manometrisch eingestellten Druckhöhen gehörenden Applanationsdiameter experimentell festgestellt. Dabei zeigt sich, dass bei all diesen Belastungen die theoretisch berechneten Druckhöhen bei niedrigem Manometerdruck zu hoch und bei hohem zu niedrig ausfallen. Für jede Belastung des Tonometers konnte aber eine intraokulare Druckhöhe gefunden werden, bei der der theoretisch berechnete Wert annähernd mit dem Manometerdruck übereinstimmte, d. h. der experimentell gefundene Durchmesser des Applanationskreises entsprach der theoretisch geforderten Grösse.

Abb. 2.



Differenzkurve der Tonometer von Schiötz und Maklakow bei Druckmessungen an Patienten (nach Apin). Diesmal wurden nicht, wie in Abb. 1, die theoretischen Werte für das Tonometer von Maklakow benutzt, sondern die von Apin durch Eichung gewonnenen Zahlen eingesetzt. Die Differenzen zwischen den Angaben der Tonometer von Schiötz und Maklakow sind jetzt wesentlich kleiner als in Abb. 1. Auf der Abszisse sind die Werte nach Schiötz in mm Hg abgetragen. Die ausgezogene Linie entspricht den Differenzen zwischen den Angaben der Tonometer von Schiötz und Maklakow.

In Tabelle 2 sind diese Werte angegeben. Die experimentell gefundenen Applanationsdiameter schwanken zwischen 6,5 und 7 mm. Sie liegen alle in der Nähe von 6,8 mm. Für einen Applanationsdiameter von 6,8 mm hat Fick berechnet, dass die Zahl der Grammbelastung verdoppelt dem intraokularen Druck in mm Hg entspricht.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6	7
Manometerdruck in mm Hg	10	20	30	40	50	60
Belastung des Auges durch das Tonometer in g	5	10	15	20	25	30
Experimentell gefundener Applanationsdiameter in mm	6,5	6,6	6,5	6,8	7,0	6,9
Abweichung von dem theoretisch verlangten Applanationsdiameter von 6,8 mm in mm	−0,3	−0,2	−0,3	0	+0,2	+0,1

Differenzen des experimentell gefundenen Applanationsdiameters bei verschiedener Belastung des Auges und verschieden hohem intraokularem Druck von dem theoretisch zu fordernden Applanationsdiameter von 6,8 mm.

Die Tabelle ist auszugsweise der Arbeit von K. Apin (5) entnommen. (Tabelle 1.)

Da die Abweichungsgrössen der experimentell gefundenen Applanationsdiameter von dem nach der Fickschen Theorie verlangten Durchmesser von 6,8 mm nicht die Fehlergrenzen der durch Feuchtigkeitsunterschiede bedingten Abweichung der Applanationsdiameter von einander übersteigen, hält Apin (5) die Uebereinstimmung von Experiment und Theorie für eine gute.

Aus diesen Befunden könnte man den Schluss ziehen, dass das Tonometer von F.-L., das mit einem konstanten Applanationskreis von 7,0 mm Durchmesser und durch Federspannung mit variabler Belastung arbeitet, für die Druckmessung geeignet ist, da ja der Diameter von 7,0 mm der Grössenordnung nach sehr nahe bei den Diametern liegt, für die Apin den Einklang zwischen Theorie und Praxis gefunden hat. Aus diesen und andern Gründen eichte Apin (5) das Tonometer von F.-L. unter Manometerkontrolle an 10 Leichenaugen in situ.

Tabelle 3 gibt die von ihm gefundenen Werte wieder. Aus dieser Zahlenzusammenstellung geht hervor, dass zwischen den theoretisch geforderten und tatsächlich gefundenen Druckhöhen sehr gute Uebereinstimmung besteht. Aber nicht nur diese Mittelwerte zahlreicher Messungen, sondern auch die Streuung der Befunde ist ausserordentlich gering.

Tabelle 3.

1	2	3	4
Manometerdruck in mm Hg	Mittelwert von F.-L. in mm Hg	Mittlerer Fehler der Einzelmessung in mm Hg	Mittlerer Fehler des Mittelwertes in mm Hg
20	20	1,6	0,008
30	30	1,8	0,009
40	40	1,8	0,010
50	50	2,0	0,013
60	58	2,4	0,016
70	68	2,4	0,013
80	76	2,4	0,016

Mittelwert, mittlerer Fehler der Einzelmessungen und der Mittelwerte aus dem Zahlenmaterial von Apin für das Tonometer von Fick-Livschitz von mir berechnet (5) (bei Apin Tabelle 2 und 3).

Da Apin nur die im Experiment gefundene Maximal- und Minimalabweichung als Fehlergrenze angibt, habe ich aus seinem Zahlenmaterial sowohl den mittleren Fehler der Einzelmessung als auch den der Mittelwerte berechnet und ebenfalls in Tabelle 3 eingetragen.

Aus den beiden letzten Stäben ist zu ersehen, dass beide Grössen sehr klein sind. Der mittlere Fehler der Mittelwerte ist so gering, dass er überhaupt bedeutungslos ist; der mittlere Fehler der Einzelmessung beträgt im Maximum $\pm$ 2,4 mm Hg. Für das klinisch so wichtige Druckbereich von 20—30 mm Hg ergibt sich nur ein mittlerer Fehler von ungefähr 1,8 mm Hg. Im Vergleich zu dem Schiötzschen Tonometer

ist diese Genauigkeit des F.-L. Apparates erstaunlich zu nennen, denn nach den von H. K. Müller (8) angestellten Untersuchungen beträgt bei Verwendung des 5,5 Gewichtes der mittlere Fehler des Sch. ± 5,5 mm Hg, er ist also beträchtlich höher, als der des F.-L. Bei der grossen Bedeutung der intraokularen Druckbestimmung durch Tonometer für die ärztliche Tätigkeit wie für die wissenschaftliche Forschung wäre die Tatsache, dass wir im F.-L.-Apparat ein Tonometer besitzen, das wesentlich genauer misst als das Schiötzsche Tonometer, ausserordentlich wichtig.

Die kritische Betrachtung dieser Ergebnisse von Apin (1, 2, 3, 5) lässt aber einige Zweifel an der Richtigkeit der Befunde aufkommen. Die in Tabelle 3 eingetragenen Zahlen zeigen, dass die von Fick seinem Tonometer gegebene Theorie durch das Experiment bestätigt werden kann. Im allgemeinen war man besonders durch die Untersuchungen von Koster (7) bis jetzt im Glauben, dass eine derartige Uebereinstimmung nicht bestehen könnte. Es ist fernerhin auffallend, dass bei den Vergleichsuntersuchungen von Apin (1) an Patienten die Mittelwerte der Tonometerangaben von Sch. und M. durch Einsetzen der am Leichenauge gefundenen Eichwerte annähernd gleich werden, während dies für die Tonometer von Sch. und F.-L. sich nicht erreichen lässt. Da es sich hiebei um Differenzen von Mittelwerten aus zahlreichen Messungen handelt, muss wohl dieser Unterschied in den Resultaten der 3 Apparate auf einen systematischen Fehler bei der Eichung dieser Instrumente zurückgeführt werden. Dieser Fehler scheint bei der Eichung des F.-L. unterlaufen zu sein, da M. und Sch. ja annähernd gleiche Werte ergaben.

Aus diesen Gründen regte mich Herr Prof. Brückner dazu an, Vergleichsuntersuchungen an Patienten und experimentelle Beobachtungen an Leichenaugen mit den Tonometern von F.-L. und Sch. auszuführen. Bei der Ausführung der Experimente und der kritischen Verwertung der Resultate war mir Herr Dr. H. K. Müller behilflich.

Wir liessen uns ein von der Apinschen Kontrollstelle in Riga geeichtes F.-L.-Tonometer kommen. Es stellt im Prinzip genau den gleichen Apparat dar, wie ihn Fick konstruiert hat, nur ist bei ihm die metallene Aufsatzplatte durch ein kleines Glasprisma, in dem der Applanationskreis eingraviert ist, ersetzt. Dadurch gelingt es leichter und vielleicht auch genauer zu erkennen, bei welcher Federspannung der vorgeschriebene Applanationsdiameter erreicht ist. Eine Prüfung der Federspannung nach den von Apin (4) gegebenen Anleitungen zeigte, dass sie tatsächlich den ihr zugesprochenen Werten exakt entsprach. Das von mir verwendete Sch.-Tonometer war von H. K. Müller an zahlreichen Leichenaugen in situ unter Manometerkontrolle geeicht worden. Die Eichwerte stimmen mit der von Schiötz (10) gegebenen Eichkurve III, 1924 verhältnismässig gut überein. Die bestehenden Abweichungen lassen sich dadurch erklären, dass es sich bei dem von mir verwendeten Sch. nicht um einen Originalapparat handelt. Ich habe deshalb die von H. K. Müller gefundenen Eichwerte meinen Berechnungen zugrunde gelegt.

Genau wie Apin (1) begann auch ich meine Untersuchungen mit vergleichenden Druckbestimmungen an Patienten durch das Sch.- und F.-L.-Tonometer.

Die Patienten befanden sich dabei stets in horizontaler Lage. An dem Apparat von F.-L. war die dieser Lage entsprechende Skala angebracht. Die Anästhesie der Kornea wurde teils mit Panthesin, teils mit Holokain herbeigeführt. Vor Anlegung des F.-L. wurde den Vorschriften von Apin (5) gemäss die Tränenflüssigkeit mit einem Wattebausch abgesaugt. Stets wurde zuerst das Sch. und nach einer Pause von 1 bis 2 Minuten das F.-L-Instrument zur Messung verwendet. Im ganzen wurden 400 Messungen ausgeführt.

Bevor ich dazu überging meine Resultate zu protokollieren, hatte ich mir durch mehrwöchige Uebungsmessungen die nötige Handfertigkeit im Gebrauch des Tonometers von F.-L. angeeignet.

Trotz des Absaugens der Tränenflüssigkeit mit einem Wattebausch fand ich bei wiederholten Messungen oft grosse Unterschiede in den Angaben des F.-L. bei ein und demselben Patienten, die wahrscheinlich auf die verschiedene Kornealfeuchtigkeit zurückgeführt werden müssen. Ein klein wenig mehr stehengebliebene Tränenflüssigkeit ergab sofort einen wesentlich niedrigeren Druck, als wenn diese vollkommen abgesaugt war. Durch versuchsweise kurzes Austrocknenlassen der Kornea konnte ich dagegen die Druckangaben des F.L. nicht unbeträchtlich steigern. Kontrollmessungen mit dem Sch.-Apparat ergaben trotz des verschiedenen Feuchtigkeitszustandes der Kornea eine wesentlich kleinere Streuung der Druckbefunde. Für die in horizontaler Lage des Patienten ausgeführten Messungen trifft meiner Erfahrung nach die Aussage von Apin (1) nicht zu, dass die Beeinflussung der Tonometerangaben durch den Feuchtigkeitszustand der Hornhaut bei F.-L. kleiner sei als bei Sch. Ich kann nur die Erfahrungen von Schirmer (11) bestätigen, der ebenfalls auf die Abhängigkeit der Messresultate des F.-L. von der Tränenflüssigkeitsmenge hingewiesen hat.

In Tabelle 4 habe ich meine Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen an Patienten eingetragen.

Tabelle 4.

1	2	3	4	5
Druckangabe nach Schiötz in mm Hg	Druckangabe nach Fick-Livschitz (Apinsche Eichwerte) in mm Hg	Differenz der Druckangabe von Schiötz und Fick-Livschitz in mm Hg	Druckangabe nach Fick-Livschitz (Eichwerte von Lörtscher) in mm Hg	Differenz der Druckangabe von Schiötz und Fick-Livschitz. Für F.L. Eichwerte von Lörtscher in mm Hg
39,5	45,8	+6,3	39,0	—0,5
34,2	44,6	+10,4	37,0	+2,8
29	39,8	+10,8	31,0	+2,0
24,5	35,6	+11,1	26,5	+2,0
20,0	33,8	+13,8	24,5	+4,5
17,0	31,4	+14,4	21,5	+4,5

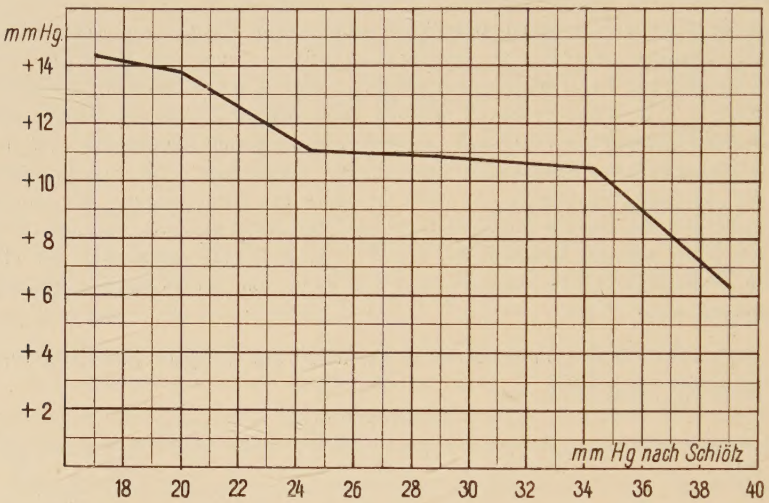
Vergleichsmessungen an Patienten mit dem Tonometer von Schiötz und Fick-Livschitz. Differenzen der Druckangaben beider Apparate nach Eichwerten für Fick-Livschitz von Apin (Stab 3) und nach Lörtscher (Stab 5).

Stab 1 enthält die Druckangabe nach Sch. und Stab 2 die Mittelwerte des F.-L., die jeweils bei den Sch.-Werten gefunden worden waren. Die Ordnung der Angaben

beider Apparate ist also die gleiche wie sie auch Apin (1) vorgenommen hat. Stab 3 enthält die Differenzen der zugehörigen Mittelwerte beider Apparate. Man sieht, dass auch hier wie bei den Untersuchungen von Apin das F.L.-Tonometer den intraokularen Druck stets höher angibt als das Sch.-Instrument. Allerdings nimmt die Differenz bei meinen Untersuchungen mit steigendem Druck stetig ab (Abb. 3), während sie bei Apin mit steigendem Druck zunimmt. Dies ist ein auffallender Unterschied in den Befunden, für den ich keine Erklärungen angeben kann.

Da auch bei meinen Untersuchungen die Mittelwerte der Druckangaben von Sch. und F.-L., wie es Abb. 3 und Tabelle 4 zeigen, beträchtliche Differenzen aufweisen, ging ich dazu über, das Tonometer von F.-L. am Leichenauge zu eichen.

Abb. 3.



Differenzkurve der Tonometer von Schiötz und Fick-Livschitz bei Druckmessungen an 400 Patienten, von der Verf. ausgeführt. Auf der Abszisse sind die Werte nach Schiötz in mm Hg abgetragen. Die ausgezogene Linie entspricht den Differenzen zwischen den Angaben der Tonometer von Schiötz und Fick-Livschitz. Im Gegensatz zu der von Apin gewonnenen Differenzkurve (Abb. 1) hat diese Kurve mit steigendem Druck einen abfallenden Verlauf.

Dem Vorschlag von Schiötz (10) entsprechend wurde eine Kanüle von 0,5 mm Lumen einige Millimeter vom Limbus corneae entfernt in das in situ gelassene Leichenauge eingestochen und soweit vorgeschoben, dass die Kanülenspitze in die Pupille vor die Linse zu liegen kam. Die Kanüle stand in fester unlösbarer Verbindung mit einem kleinen Metallhahn, der durch einen Gummischlauch mit dem druckregulierenden Flüssigkeitsbehälter verbunden war. Das Lumen der Kanüle von 0,5 mm dürfte vollkommen genügend sein, da es sich um statische Druckmessungen handelt.

Nach den Apinschen Vorschriften (5) wurde die Kornea vor jedem Aufsetzen des Tonometers mit 0,9proz. NaCl-Lösung befeuchtet und dann durch einen Wattebausch die überflüssige NaCl-Lösung abgesaugt. Die Messungen wurden nur bei steigendem intraokularem Druck ausgeführt. Bei 20, 30, 40, 50, 60, 70 und 80 cm Wasserdruck wurde jeweils mit dem Tonometer gemessen. Nie wurde von höhern zu niedrigeren Drucken übergegangen, wie es Apin (5) gemacht hat, weil durch die Dehnung der Augenhüllen bei hohen Drucken zweifellos irreversible Veränderungen der physi-

kalischen Eigenschaften der Bulbuswand des Leichenauges ausgelöst werden, die es verhindern, dass bei steigendem und fallendem Druck die gleichen Verhältnisse vorliegen.

Vor jeder Messung wurde der Verbindungshahn Auge—Manometer geschlossen, so dass während der Tonometrierung das Auge vom Manometer abgeschlossen war. Gleich nach jeder Druckbestimmung wurde der Hahn wieder geöffnet. Zwischen Hahnschluss und Tonometrierung lag nur sehr kurze Zeit. Da ständig Flüssigkeit aus dem Auge entweicht, ist dies ein wichtiges Moment. Bei jeder manometrisch eingestellten Druckhöhe wurden 3 Bestimmungen mit dem Tonometer ausgeführt. Ich beschränkte mich auf 3 Ablesungen, da ich schon bei dieser Zahl im Verlaufe des Versuches Epithelschädigungen auftreten sah, die in der Lage waren das Resultat zu beeinflussen. Auch scheint mir, da die Ablesung von subjektiven Momenten abhängig ist, bei Zehnerreihen, wie sie Apin (5) benützt hat, die Kenntnis des ungefähren Mittelwertes der ersten Messungen die lezten Messungen stärker zu beeinflussen als die ersten.

In einem Teil der Versuche wurden nach den Messungen bei geschlossener Verbindung Auge—Manometer noch jeweils 2 Druckbestimmungen mit offenem Hahn ausgeführt. Meine Resultate gliedern sich also in 2 Hauptgruppen, in solche die am „geschlossenen" und solche die am „offenen" Auge gewonnen worden sind.

Die Untersuchungen wurden an 20 Leichenaugen vorgenommen.

Ohne zunächst auf Einzelheiten näher einzugehen, seien zuerst die gefundenen Mittelwerte erörtert, die in Tabelle 5 und 6 angegeben sind.

Für das „geschlossene" Auge liegen die Eichwerte alle wesentlich höher, als sie der Fickschen Theorie entsprechen müssten und wie sie Apin (5) gefunden hat. Man muss also mit der Feder stets stärker drücken, als die Theorie erfordert. In dem für die Klinik so wichtigen Druckbereich von 15—30 mm Hg betragen die Unterschiede zwischen theoretisch berechneten und experimentell gefundenen Werten ungefähr 10 mm Hg. Mit steigendem Druck von 14,8 bis 44,4 mm Hg fallen die Differenzen von + 11,0 bis + 4,8 mm Hg ab.

Ganz anders liegen die Ergebnisse am „offenen" Auge. Hier besteht, wie Tabelle 6 zeigt, eine annähernde Uebereinstimmung zwischen theoretisch geforderten und experimentell gefundenen Werten. Die Unterschiede betragen nur noch 0,6 bis 4,2 mm Hg, wobei sie anfänglich positiv und bei höheren Drucken negativ werden.

Während die am „geschlossenen" Auge von mir gefundenen Mittelwerte durchaus nicht mit den Eichwerten von Apin (5) im Einklang stehen, ist die Uebereinstimmung mit seinen Befunden am „geschlossenen" Auge und meinen Ergebnissen am „offenen" Auge eine ganz gute. Es scheint demnach so zu sein, dass Apin mehr unter den Bedingungen des „offenen" als unter denen des „geschlossenen" Auges gearbeitet hat. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, lässt sich nicht ohne weiteres sagen, aber wahrscheinlich wird doch die verschiedene Methodik verantwortlich zu machen sein.

Für die annähernde Gültigkeit meiner Eichwerte bin ich in der Lage einen Beweis anzuführen, den es nicht gelingt, mit den Apinschen Ergebnissen zu erbringen.

Tabelle 5.

Versuchs-Nr.	Intraokularer Druck in mm Hg	14,8	22,2	29,6	37,0	44,4
1	Experimentell gefundene Federspannung in g	12,0	12,3	15,7	17,0	19,3
2		11,7	14,5	18,2	21,3	24,0
3		11,7	13,0	16,2	18,0	19,7
4		11,7	14,3	15,3	18,3	22,3
5		—	8,5	14,7	18,5	19,0
6		11,5	14,5	17,3	19,2	21,7
7		11,7	16,0	21,3	24,0	29,0
8		13,5	19,5	22,2	25,3	29,3
9		12,8	15,5	18,8	23,0	25,3
10		15,8	18,8	21,5	27,2	29,0
11		15,0	20,8	24,7	25,0	26,5
12		16,3	19,7	23,0	28,0	27,7
13		12,5	12,3	19,3	24,5	27,2
14		12,3	16,7	22,0	24,2	25,3
15		12,7	15,5	21,0	22,8	20,3
16		9,5	15,0	16,0	18,8	22,0
17		11,3	17,8	17,0	18,8	25,7
18		10,7	15,5	16,0	22,7	30,3
19		14,3	21,0	25,8	28,7	>30,0
20		18,3	19,2	22,5	23,5	>30,0
Mittelwerte der experimentell gefundenen Federspannung in g		12,9	16,0	19,4	22,4	24,6
Die dem Manometerdruck nach der Theorie von Fick entsprechende Federspannung in g		7,4	11,1	14,8	18,5	22,2
Differenz zwischen experimentell gefundener und theoretisch zu verlangender Federspannung in g		+5,5	+4,8	+4,6	+3,9	+2,4
Differenz zwischen experimentell gefundenem und theoretisch zu verlangendem Tonometerwert in mm Hg		+11,0	+9,6	+9,2	+7,8	+4,8
Mittlerer Fehler der Einzelmessung in g Federspannung		±2,3	±3,2	±3,2	±3,5	±3,7

Zusammenstellung der am „offenen" Leichenauge gefundenen Federspannungen des Fick-Livschitzschen Tonometers bei verschiedenem intraokularen Druck. Am Fusse der Tabelle sind die Mittelwerte der Federspannungen, ihre Differenzen gegenüber den theoretisch zu fordernden Werten und der mittlere Fehler der Einzelmessung angegeben.

Wie schon eingangs erwähnt, konnte ich die von Apin (1) gefundenen Werte bei den Vergleichsuntersuchungen mit dem Sch.- und M.-Tonometer an Patienten durch die von ihm selbst gegebenen Eichwerte annähernd in Einklang bringen, während das für das F.-L.-Instrument nicht möglich war. Dies ist aber mit Hilfe der von mir festgestellten

Eichwerte für das F.-L.-Tonometer und den von mir mit den Apparaten von Sch. und F.-L. erhobenen Befunden an Patienten ausführbar.

In Stab 4 der Tabelle 4 sind die bei den Vergleichsuntersuchungen mit dem F.-L. erhobenen Befunde auf meine Eichwerte umgerechnet und wie Stab 5 dieser Tabelle zeigt, betragen jetzt die Differenzen gegenüber Sch. nur noch —0,5 bis + 4,5 mm Hg im Gegensatz zu den Apin-Werten, bei denen diese Unterschiede + 6,3 bis + 14,4 mm Hg ausgemacht haben.

Es ist daraus zu ersehen, dass durch die von mir vorgenommene Eichung die Mittelwerte zahlreicher Messungen von beiden Apparaten annähernd gleich werden. Eine völlige Uebereinstimmung ist nicht zu erwarten, da die Zahl der diesen Mittelwerten zugrunde liegenden Messungen bei der Grösse des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung noch zu klein

Tabelle 6.

Versuchs Nr.	Intraokularer Druck in mm Hg	14,8	22,2	29,6	37	44,4	51,8
1	Experimentell ermittelte Federspannung in g	8,8	13,0	14,7	19,2	21,0	—
2		10,0	9,0	17,5	19,0	22,0	29,0
3		7,0	12,0	15,0	18,8	21,5	25,0
4		8,0	9,8	14,0	17,0	18,2	21,0
5		13,0	12,2	14,2	18,0	21,2	23,7
6		8,0	11,2	14,2	17,7	21,7	25,0
7		10,8	12,5	16,0	19,5	21,2	27,0
8		10,0	12,5	18,0	20,5	19,2	22,5
9		6,8	10,0	13,2	14,7	16,2	18,5
10		7,5	12,0	13,2	17,5	21,0	23,7
11		7,8	12,2	15,5	17,0	21,2	24,0
12		8,5	12,5	16,0	18,5	22.2	25,2
13		10,0	16,8	20,5	24,0	28,2	—
14		11,8	17,0	18,2	23,5	27,0	—
Mittelwerte der experimentell gefundenen Federspannungen in g		9,1	12,1	15,7	18,8	20,1	24,1
Die dem Manometerdruck nach der Theorie von Fick entsprechende Federspannung		7,4	11,1	14,8	18,5	22,2	25,9
Differenz zwischen experimentell gefundener und theoretisch zu verlangender Federspannung in g		+1,7	+1,0	+0,9	+0,3	—2,1	-1,8
Differenz zwischen experimentell gefundenem und theoretisch zu verlangendem Tonometerwert in mm Hg		+3,4	+2,0	+1,8	+0,6	—4,2	—3,6

Zusammenstellung der am „geschlossenen" Leichenauge gefundenen Federspannungen des Fick-Livschitzschen Tonometers bei verschiedenem intraokularen Druck. Am Fuss der Tabelle sind die Mittelwerte der Federspannungen, ihre Differenz gegenüber den theoretischen zu fordernden Werten und der mittleren Fehler der Einzelmessung angegeben.

ist. Auf jeden Fall ist die Differenz der beiden Apparate wesentlich geringer, als wenn man die von Fick (6) dem Instrument zugesprochenen und von Apin als richtig befundenen Werte nimmt.

Um zu einem vollen Verständnis dieser Befunde zu kommen, scheint es mir nötig, die Ficksche Theorie und die gegen sie erhobenen Einwürfe kurz zu erörtern.

Fick (6) stellte den Satz auf: die Summe der normalen Spannungskomponenten der Bulbuswand + dem hydrostatischen Druck im Auge auf die Tonometergrundfläche = der eindrückenden Kraft. Dieser Satz erhielt die Formel:

$$p - 2\varrho \cdot \pi \cdot t \cdot \cos \varphi = P\,(\varrho^2 \pi).$$

In dieser Formel bedeutet ϱ den Radius der planen Fläche des Tonometers, p die eindrückende Kraft, t die Wandspannung der eingedrückten Stelle, φ den Winkel zwischen der radiären Druckrichtung und der Tangente an der eingedrückten Stelle, endlich P den hydrostatischen Druck des Auges. Unter der Annahme, dass der Winkel zwischen Druckrichtung und der an die eingedrückte Stelle angelegten Tangente = 90° ist, wird $\cos \varphi = 0$ und die Gleichung vereinfacht sich auf die Form $p = P\varrho^2 \cdot \pi$. Diese Annahme ist aber, wie schon Fick selber und besonders Koster (7) ausgeführt, nur für ein sehr kleines ϱ und selbst da nur annäherungsweise richtig, denn in dem Moment, wo ein Teil der Kugeloberfläche platt gedrückt wird, bildet die Tangente schon einen Winkel mit der plattgedrückten Stelle.

Unter der weiteren Annahme, dass die Augenhüllen einen sehr hohen Elastizitätsmodul besitzen und die Biegsamkeit derselben eine vollkommene ist, glaubte jedoch Fick (6) seinem Apparat die Formel $P = \frac{p}{\varrho^2 \pi}$ zugrunde legen zu dürfen.

Schon Koster hat 1895 die Gültigkeit der Fickschen Theorie abgelehnt. Er führt ausser den obengenannten noch weitere Begründungen an. Es muss nämlich die Dicke der Kornea in Rechnung gesetzt werden, da die Fläche, die mit dem intraokularen Druck Gleichgewicht halten soll, durch die Rückfläche der Kornea gebildet wird. Ferner kommt es durch das Aufsetzen des Apparates zu einer Veränderung der Kugelgestalt und damit zwangsläufig zu einer Drucksteigerung, die Flüssigkeit aus dem Auge zu verdrängen sucht und die Skleralwand dehnt.

Bei diesem Zusammenspiel so vieler Faktoren, lässt sich das endgültige Resultat nur schwer in eine mathematische Formel bringen und das Experiment muss entscheidend sein. Koster (7) hat in seinen Versuchen den eindeutigen Beweis erbracht, dass die Anlegung des Fickschen Tonometers eine intraokulare Drucksteigerung auslöst. Bei der Prüfung seines eigenen Tonometers, das im Prinzip dem Fickschen ähnlich war und dessen Applanationsplatte einen Durchmesser von 6,5 mm hatte, fand er am „geschlossenen" Auge viel höhere Werte, als das Manometer anzeigte. Am „offenen" Auge ergab das Tonometer dagegen eine gute Uebereinstimmung bis zu 40 mm Hg und bei höherem Druck blieb es unter dem Manometerdruck. Allerdings ist zu erwähnen, dass Koster (7) seine Experimente am Schweinsauge ausgeführt hat. Fick (6) selbst hat nur unter den Bedingungen des „offenen" Tierauges gearbeitet und findet hiebei wie Koster annähernde Uebereinstimmung mit dem Manometer. Ostwalt (9), der ebenfalls nur das „offene" Tierauge benützte, findet bis zu 60 mm Hg höhere Werte, als sie dem Manometer entsprechen müssten. Da es nicht anzunehmen ist, dass beim „offenen" Auge höhere Werte gefunden werden können, als am „geschlossenen", so kann man die Ergebnisse von Koster (7), Fick (6) und Ostwalt (9) direkt als Beweis für die Richtigkeit meiner Befunde zitieren.

Die Eichkurve des F.-L.-Tonometers liegt wesentlich höher als Apin aus seinen Versuchen zu schliessen glaubte. Der einer bestimmten Federspannung entsprechende intraokulare Druck lässt sich nicht mit einer einfachen mathematischen Formel berechnen. Es muss ebenso wie für das Sch.- auch für das F.-L.-Instrument eine empirische Eichung gefordert werden.

Es soll damit nicht ausgeschlossen werden, dass für jede Belastung bei einer für diese charakteristischen Druckhöhe ein Diameter des Applanationskreises gefunden werden kann, bei dem die doppelte Zahl in Gramm dem intraokularen Druck in mm Hg entspricht. Der Diameter von 7,0 mm scheint es aber nicht zu sein. Ferner ist es wohl fraglich, ob sich eine einheitliche Grösse des Applanationskreises für alle Belastungen finden lassen wird. Schon Apin (5) erwähnt bei der von mir als Tabelle 2 wiedergegebenen Zahlenreihe der experimentell gefundenen Diameter, dass sich bei den Differenzen gegenüber der Grösse der theoretischen Durchmesser, eine gewisse Gesetzmässigkeit nicht abstreiten lasse. Er führt aber dann doch diese Differenzen auf die Fehlergrösse der Methodik zurück. Bei der genannten Zahlenreihe handelt es sich aber um die Mittelwerte einer grösseren Zahl von Messungen. Nun ist es eine bekannte Tatsache, dass Mittelwerte nur durch systematische Fehler und nicht durch Streuungsfehler beeinflusst werden können, wenn nur die Zahl der Messungen genügend gross ist. Die letzte Bedingung scheint annähernd erfüllt zu sein. Unter der Voraussetzung, dass in der Apinschen Methode kein systematischer Fehler wäre, müsste also die Gesetzmässigkeit anerkannt werden, dass auch für den speziellen Fall eines Applanationsdurchmessers von 6,8 mm derselbe bei niedern Drucken zu klein und bei hohen Drucken zu gross gefunden wird.

Wie schon gesagt, kann man erst nach empirischer Eichung des F.-L.-Tonometers mit ihm den intraokularen Druck quantitativ bestimmen. Doch der empirischen Eichung stellen sich mancherlei Schwierigkeiten entgegen. So erhielt ich anfangs mit der geschilderten Methode der Eichung eine sehr grosse Streuung der Einzelmessungen. Erst als ich genauestens darauf achtete, die Feuchtigkeit der Kornea des Leichenauges möglichst gleichartig vor jeder Messung zu gestalten, wurde diese Streuung etwas geringer. Aus diesem Grunde wurden die Resultate der ersten Versuche nicht verwendet.

Durch willkürliche Variation der Flüssigkeitsschicht konnte ich besonders bei höheren intraokularen Drucken, die Einstellung des Tonometers um 4—6 g leicht ändern. Es ist dies auf folgende Tatsachen zurückzuführen:

Während das Ficksche Instrument eine metallene Platte hat, mit der die Kornea abgeflacht wird, ist beim F.-L.-Apparat an deren Stelle ein kleines Glas-

prisma mit totaler Reflexion angebracht. In der Basis des Prismas ist ein Kreis von 7 mm Durchmesser eingraviert. In dem Augenblick, in dem das Prisma die Tränenflüssigkeit bzw. die Kornea berührt, wird an dieser Stelle die totale Reflexion aufgehoben und die Berührungsstelle erscheint im Vergleich zur übrigen total reflektierenden Basis dunkel. Bei der Benützung des Apparates kann man nicht entscheiden, inwieweit die Tränenflüssigkeit oder die Kornea selbst an der Bildung des Applanationskreises beteiligt ist. Eine einfache Rechnung lässt aber den grossen Einfluss der Tränenflüssigkeit auf die Grösse des Applanationskreises erkennen. Einen gegebenen Abflachungskreis der Kornea von 6.8 mm wird eine Tränenschicht von 0.05 mm um 0.22 mm, und eine Tränenschicht von 0,2 mm um 0,66 mm vergrössern. Im ersten Fall wird der Diameter um 3,0% und im zweiten um 9,7% durch die Tränenschicht vergrössert. Je höher der intraokulare Druck ist, desto grösser wird der dadurch bedingte Fehler. Bei Eichungen am Leichenauge sind die angeführten Zahlen für die Flüssigkeitsschicht durchaus denkbar. Die ausserhalb des Applanationskreises liegenden Teile der Prismabasis bilden mit der Kornea einen spitzen Winkel, in den durch Kapillarattraktion Flüssigkeit hineingesaugt wird, so dass sie an der Vergrösserung des Applanationskreises noch viel mehr beteiligt ist, als es das gegebene Zahlenbeispiel erkennen lässt. Es ist deshalb sehr fraglich, ob der Ersatz der Metallplatte des Original-Fick-Apparates durch ein Glasprisma überhaupt eine Verbesserung bedeutet.

Aber nicht nur die verschieden dicke Tränenflüssigkeitsschicht, sondern auch die wechselnde Elastizität und Biegsamkeit der Bulbushüllen werden die Streuung der Messungen beeinflussen. Es kommt bei der Anlegung des Tonometers zu einer intraokularen Drucksteigerung, und da müssen sich die individuellen Unterschiede in der Beschaffenheit der Bulbuswandungen bemerkbar machen. Zudem werden die Fehlermöglichkeiten noch durch die subjektive Abschätzung des Applanationskreises und die subjektive Ablesung der Zeigerstellung erweitert. Es bedarf einer sehr ruhigen und sichern Hand, um bei der Ablesung den einmal eingestellten Applanationskreis nicht zu verändern.

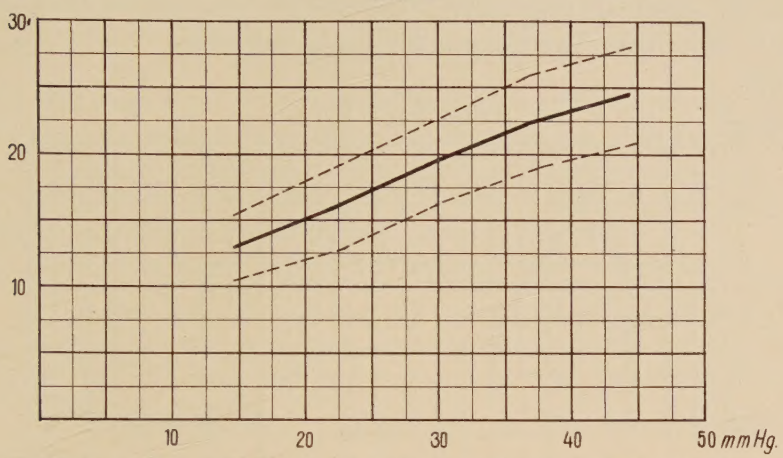
Aus den Messungen am „geschlossenen" Auge habe ich den mittleren Fehler der Einzelbeobachtung berechnet und die erhaltenen Werte am Schluss der Tabelle 5 eingetragen.

Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass durchschnittlich mit einem Fehler von ± 3 g Federspannung bei der Einzelbeobachtung gerechnet werden muss.

In Abb. 4 habe ich diese Resultate eingezeichnet. Auf der Abszisse ist der intraokulare Druck in mm Hg und auf der Ordinate die dazugehörige Federspannung in g abgetragen. Die Mittelwerte der Federspannung sind durch die ausgezogenen Linien wiedergegeben, und die gestrichelten Linien entsprechen den jeweiligen Mittelwerten vergrössert und verkleinert um den mittleren Fehler der Einzelbeobachtung. Betrachtet man Abb. 4 so ist zu ersehen, dass z. B. bei einem intraokularen Druck von 30 mm Hg die Federspannung im Mittel 19,5 g beträgt. Bei Berücksichtigung des mittleren Fehlers kann diese Federspannung von 19,5 g aber auch schon bei einem intraokularen Druck von 23 mm Hg, oder erst bei einem intraokularen Druck von 39,5 mm Hg gefunden werden. Hat man also mit dem F.-L.-Tonometer an einem Patienten die Federspannung 19,5 ermittelt, so ist der wahrscheinliche Wert des intraokularen Druckes 30 mm Hg; er kann aber auch 23 bzw. 39,5 mm Hg sein. Wir haben alo hier eine Streuungsbreite von — 7 bis + 9,5 mm Hg um den

wahrscheinlichen Wert. In Tabelle 7 habe ich für die Federspannung von 17, 19,5 und 21,5 g die aus Abb. 4 abgeleiteten Streuungsbreiten eingetragen. Es ist daraus zu ersehen, dass dabei mit einem Streuungsbereich von ca ± 8 mm Hg zu rechnen ist. Das F.-L.-Tonometer ist also mit einem erheblichen Fehler belastet, der wesentlich

Abb. 4.



Eichkurve des Tonometers von Fick-Livschitz nach eigenen Messungen an 20 Leichenaugen. Auf der Abszisse sind die unter Manometerkontrolle hergestellten intraokularen Druckhöhen abgetragen. Die ausgezogene Linie gibt die bei diesen Druckhöhen gefundenen Mittelwerte der Federspannungen in g an. Die gestrichelten Linien zeigen das Streuungsbereich an, das aus den um den mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung vergrösserten und verkleinerten Mittelwerten der jeweils ermittelten Federspannungen berechnet worden ist.

Tabelle 7.

Federspannung in g	Der der Federspannung entsprechende wahrscheinliche Wert des intraokularen Druckes in mm Hg	Untere Grenze des der Federspannung entsprechenden Wertes des intraokularen Druckes in mm Hg	Obere Grenze des der Federspannung entsprechenden Wertes des intraokularen Druckes in mm Hg	Streuungsbreite in mm Hg
17	25	18	33	15
19,5	30	23	39	16
21,5	35	27,0	ca 45	18

Die den Federspannungen 17, 19,5 und 21,5 g entsprechenden wahrscheinlichen Werte des intraokularen Druckes, sowie die möglichen unteren und oberen Grenzwerte derselben. Die Werte sind aus Abb. 4 übertragen.

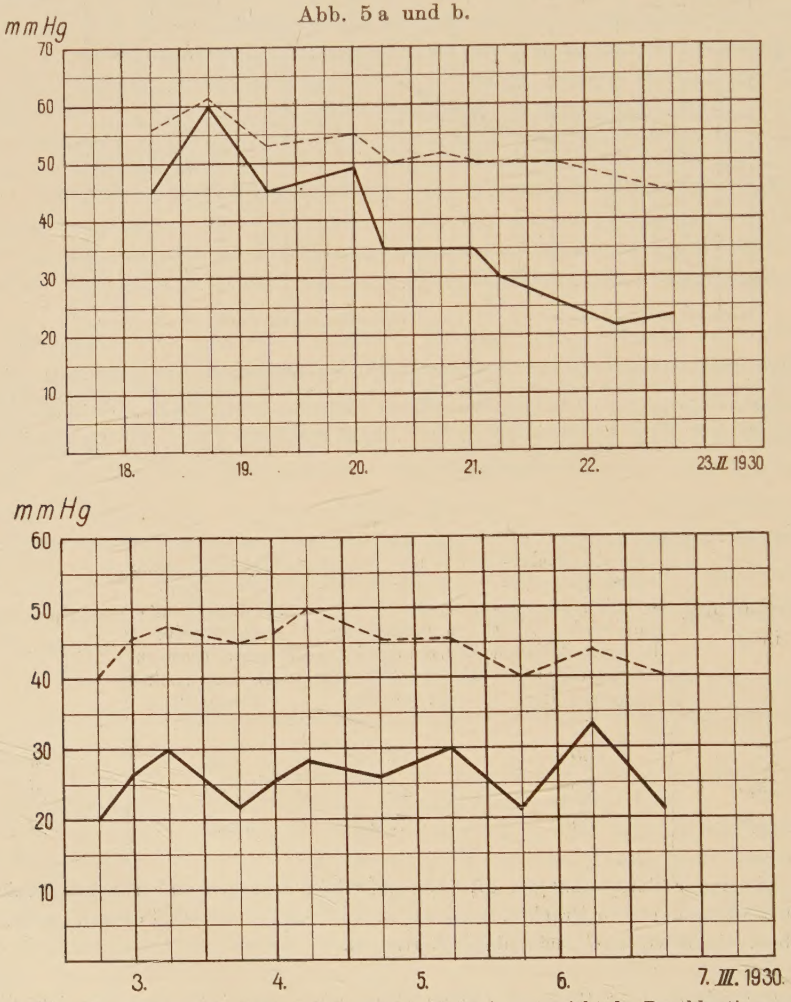
grösser ist als der des Schiötzschen Tonometers von ± 5,5 mm Hg. Aus diesen Befunden an Leichenaugen ergibt sich also keineswegs die von Apin (5) ermittelte Genauigkeit des F.-L.-Tonometers.

Es mag ja nun sein, dass am Leichenauge die Streuung grösser ist als am lebenden Auge, weil hier die Konstanz der Tränenschicht eine bessere sein wird. Aber ich glaube in der Annahme nicht fehlzugehen, dass das

F.-L.sche Instrument auch am lebenden Auge eine wesentlich grössere Streuung aufweist als das Sch.-Tonometer.

Da nach meinen bisherigen Ergebnissen das F.-L.-Tonometer kein brauchbares Instrument ist, um den intraokularen Druck quantitativ zu bestimmen, müsste die Frage noch geklärt werden, inwieweit dieser Apparat geeignet ist, Druckschwankungen des Auges wenigstens relativ zu verzeichnen.

Abb. 5 a und b.



Klinische Druckkurven von 2 Patienten. Die gestrichelte Linie entspricht der Druckbestimmung mit dem Tonometer von Fick-Livschitz, die ausgezogene der Druckbestimmung mit dem Schiötzschen Apparat.

In Abb. 5a u. b sind zwei klinische Druckkurven wiedergegeben. Die gestrichelte Linie gibt die F.-L.-Werte und die ausgezogene die Sch.-Werte wieder. Im allgemeinen liegt auch hier der mit dem F.-L.-Tonometer gemessene Druck wesentlich höher. Das mit dem Sch.-Apparat gewonnene Kurvenbild zeigt die Kurvenzacken charakteri-

stischer ausgebildet, während das F.-L.-Tonometer den Kurvenverlauf mehr ausgleicht. Auch diese Untersuchungen bestätigen das Gesamtergebnis meiner Arbeit.

Somit kann ich auch den Befunden von Apin (1) in dieser Richtung nicht beistimmen, dass die Tonometer von F.-L. und Sch. im Registrieren von Druckschwankungen als ebenbürtig anzusehen sind.

Zusammenfassung.

1. Mit dem Fick-Livschitzschen Tonometer kann man den intraokularen Druck nur mit Hilfe von empirisch an Leichenaugen gewonnenen Eichkurven feststellen. Die Ficksche Formel $P = \frac{p}{\varrho^2 \pi}$ hat für diesen Apparat keine Gültigkeit.

2. Bei der empirischen Eichung an Leichenaugen zeigt sich, dass das Fick-Livschitzsche Tonometer eine wesentlich grössere Streuung der Einzelmessung als das Tonometer von Schiötz besitzt. Es ist wahrscheinlich, dass auch am lebenden Auge die Fehlerbreite des Fick-Livschitzschen Tonometers grösser ist als die des Schiötzschen Apparates.

3. Die Ungenauigkeit des Fick-Livschitzschen Tonometers setzt seine klinische Bedeutung stark herab, und es liegt keine Berechtigung vor, es wegen seiner für den Patienten angenehmen Eigenschaften bei der Anlegung an das Auge dem Tonometer von Schiötz vorzuziehen.

Literatur.

1. Apin, K., Vergleichende Betrachtung der Tonometer von Schiötz, Maklakow und Fick-Livschitz. Kl. M. f. A. 1926, Bd. **77**, S. 137. — 2. Apin, K., Das Applanationsprinzip der Tonometrie im Lichte manometrischer Untersuchungen. 1. Druckbestimmung nach der Aenderung der Applanationsdiameter bei gleichbleibender Belastung. (Tonometer von Maklakow). Kl. M. f. A. 1928, Bd. **81**, S. 631. — 3. Apin, K., Das Applanationsprinzip im Lichte manometrischer Untersuchungen. 2. Druckbestimmung nach der Aenderung der Applanationsdiameter bei Belastung mit verschiedenem Gewicht. (Tonometer von Maklakow). K. M. f. A. 1929, Bd. **82**, S. 500. — 4. Apin, K., Tonometer Fick-Livschitz und seine Prüfung. Kl. M. f. A. 1929, Bd. **82**, S. 781. — 5. Apin, K., Das Applanationsprinzip der Tonometrie im Lichte manometrischer Untersuchungen. 3. Druckbestimmung nach der zur Erreichung einer Applanationsfläche von bestimmter Grösse benötigten Belastung. (Tonometer von Maklakow mit verschiedenem Gewicht und Tonometer von Fick-Livschitz nebst seinen Verwendungsmöglichkeiten). Kl. M. f. A. 1929, Bd. **83**, S. 16. — 6. Fick, R. A., Ein neues Ophthalmotonometer. Inaug.-Diss. Würzburg, 1888. — 7. Koster, W., Beiträge zur Lehre vom Glaukom. Archiv f. O. G. 1895, Bd. **41**, II, S. 30. — 8. Müller, H. K., Zur Messung des intraokularen Druckes. 48. Vers. O. G. Heidelberg 1930, S. 147. — Ostwald, F., Ophthalmometrische Studie. Arch. f. D. G. 1894, Bd. **40**, IV, S. 22. — 10. Schiötz, H., Tonometrie. Act. opht. 1924, Bd. **2**, S. 1. — 11. Schirmer, O., Die Hypotonie ein konstantes Symptom der Entzündung des Ziliarkörpers. Arch. f. O. G. 1910, Bd. **74**, S. 224.